

## ПЕРСПЕКТИВЫ ДОБЫЧИ УГЛЕВОДОРОДОВ И ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ГЕОТЕРМАЛЬНЫХ РЕСУРСОВ В МИРЕ

Зуй В.И.

*Республиканское унитарное предприятие «Белорусский научно-исследовательский геологоразведочный институт» (Государственное предприятие «БелНИГРИ»),  
г. Минск, респ. Беларусь  
e-mail: [zui@geology.org.by](mailto:zui@geology.org.by)*

В работе представлены данные по добыче нефти и природного газа и прогнозы на ближайшую перспективу, с одной стороны, и тенденции в использовании геотермальной энергии, с другой стороны. Показано, что в последнее время происходит увеличение спроса на нефть и газ, вызванное ростом промышленного производства, прежде всего развивающихся стран, что приведет к достижению пика их добычи в ближайшие десятилетия, за которым последует постепенное снижение добычи вследствие ряда причин. Типичные кривые динамики добычи нефти рассмотрены для Северного моря и крупнейшего в мире нефтяного месторождения Ghawar в Саудовской Аравии.

На этом фоне происходит расширение сфер применения геотермальных ресурсов в целом. Достижения в области геотермальной электроэнергетики и создания тепловых насосов позволили широко использовать не только подземный пар, но и низкоэнтальпийные геотермальные ресурсы на всех континентах, что привело к устойчивой тенденции роста в выработке тепловой энергии во многих странах мира. По состоянию на 2010 год выработка «геотермальной» электроэнергии осуществлялась в 24 государствах, а прямое использование подземного тепла – в 78 странах мира.

**Ключевые слова:** добыча нефти и газа, возобновляемые энергоресурсы, геотермальные установки, геотермальные электростанции, тепловые насосы, тепловая энергия, тенденции роста.

Available data on the history of oil and natural gas recovery as well as forecasts for the nearest future on the one hand, and tendencies in the geothermal energy utilization on another hand are discussed in the paper. It was shown that increasing of the request for oil and gas during last time resulted from the growing industrial production, first of all in developing countries, will cause approaching the a peak in their production during nearest decades followed by a its gradual decrease due to a number of reasons. Typical diagrams of an oil recovery dynamics are considered for the North Sea area and the biggest Ghawar oil field in Saudi Arabia.

An enhancement of geothermal resources utilization takes place on this background. Achievements in the geothermal power generation and the production of heat pumps gave a possibility of a wide utilization not only a geothermal water steam but low-enthalpy geothermal resources within all continents as well. It resulted in a tendency in the stable increase of the geothermal energy production in many countries worldwide. The “geothermal” power production in 2010 was available in 24 countries and the direct underground heat utilization was in 78 countries of the world.

**Keywords:** oil and gas recovery, renewable resources, geothermal installations, geothermal power stations, heat pumps, heat energy, growth tendencies.

### Введение

Многие развивающиеся страны мира, в том числе и страны юго-восточной Азии, стремясь повысить уровень жизни населения, приступили к развитию промышленного производства, интенсификации и механизации сельского хозяйства, развития транспортной инфраструктуры. На смену ручному возделыванию полей и сбору урожаев приходят трактора и сельхозмашины, а в городах на смену велосипедному транспорту – мотоциклы и автомобили.

Продвижение ряда стран Азии, Африки, Латинской Америки по пути интенсивного развития приводит к механизации ручного труда, увеличению количества технических средств в сельском хозяйстве, строительстве и на транспорте. Это влечет за собой рост потребления энергоресурсов. Спрос на энергию вызывается развитием промышленности и быстро растущим населением, которое может увеличиться на 20% в течение следующих 20 лет, в том числе, и за счет улучшения его жизненного уровня [1]. Основная часть этого



**Рис. 1.** Мотоцикл недавно стал основным видом транспорта в г. Нуса Дуа на Бали, Индонезия после принятия Правительством Индонезии решения об их продаже в кредит (фото В.И Зуя)

увеличения произойдет в странах с большим населением и энергозатратной экономикой, таких как Китай, Индия, Индонезия. В результате растет спрос и на первичные энергоносители, прежде всего, нефть и продукты ее переработки, равно как и на твердые горючие ископаемые – каменный уголь, горючие сланцы, торф и т.п.

Сжигание этих видов органического топлива приводит к выбросу в атмосферу значительных объемов углекислого газа, нарушающему ее природный баланс и приводящему к парниковому эффекту. Вследствие чего остро встал вопрос об ограничении роста температуры на планете - не более 2°C в ближайшие десятилетия - и постепенного перехода к «зеленой технологии» выработки энергии за счет использования возобновляемых энергоресурсов. К последним относится и геотермальная энергия, имеющаяся повсеместно в недрах планеты. В отличие от энергии солнца и ветра наличие геотермальной энергии не зависит ни от времени суток и погоды, ни от сезона года, она доступна всегда.

#### **Динамика добычи нефти**

Кратко остановимся на мировом потреблении и прогнозе динамики добычи нефти и природного газа. Потребность планеты в энергии постоянно возрастает. По данным Администрации по энергоинформации США (U.S. Energy

Information Administration (EIA)), только в США за 10 лет электрическая мощность генераторов возросла на 40% в основном за счет станций, работающих на природном газе. Эксперты полагают, что потребляемые мощности в мире увеличатся приблизительно на 33% к 2030 году.

Всё большее число геологов, занимающихся оценкой ресурсов нефти, считают, что приблизительно в течение следующих 10 – 20 лет нефтяники достигнут пика ее добычи. Отдельные специалисты считают, что этот пик уже достигнут [2]. Время открытия залежей – супергигантов прошло в середине 60-х годов прошлого века, за которым начался постепенный спад, как считают специалисты Вашингтонского Earth Policy Institute [3], рис. 2а. По данным British Petroleum [4], в период с 1980 до 2007 гг. только 82% мировой добычи нефти было восполнено наращиванием новых разведанных резервов, рис. 2б.

Из рисунков следует, что за последние 30 лет резервы снижались из-за уменьшения количества открытых новых месторождений нефти [5]. При этом каждому баррелю разведанной нефти в настоящее время соответствуют от 4 до 6 баррелей добытой нефти (см. рис. 2). Это приведет к тому, что скоро будет достигнут пик добычи нефти, после чего прогнозируется ее постепенное снижение. Некоторые исследователи, например, [6] пред-

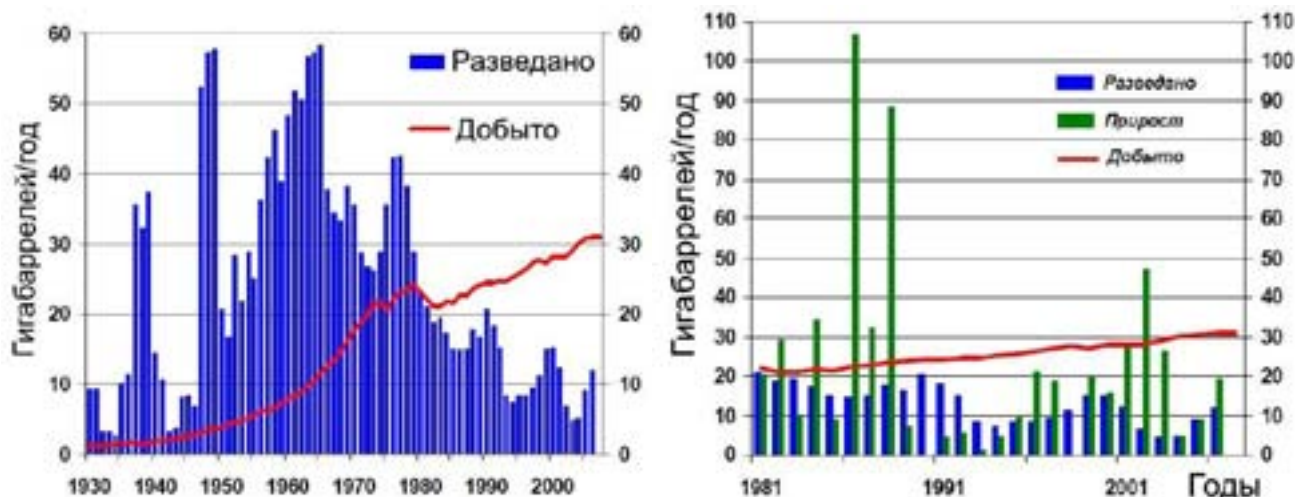


Рис. 2. Слева (а) – Динамика изменения разведанных запасов и добычи нефти в мире; справа (б) – Соотношение разведанных запасов, их прироста и добычи нефти [3; 4]

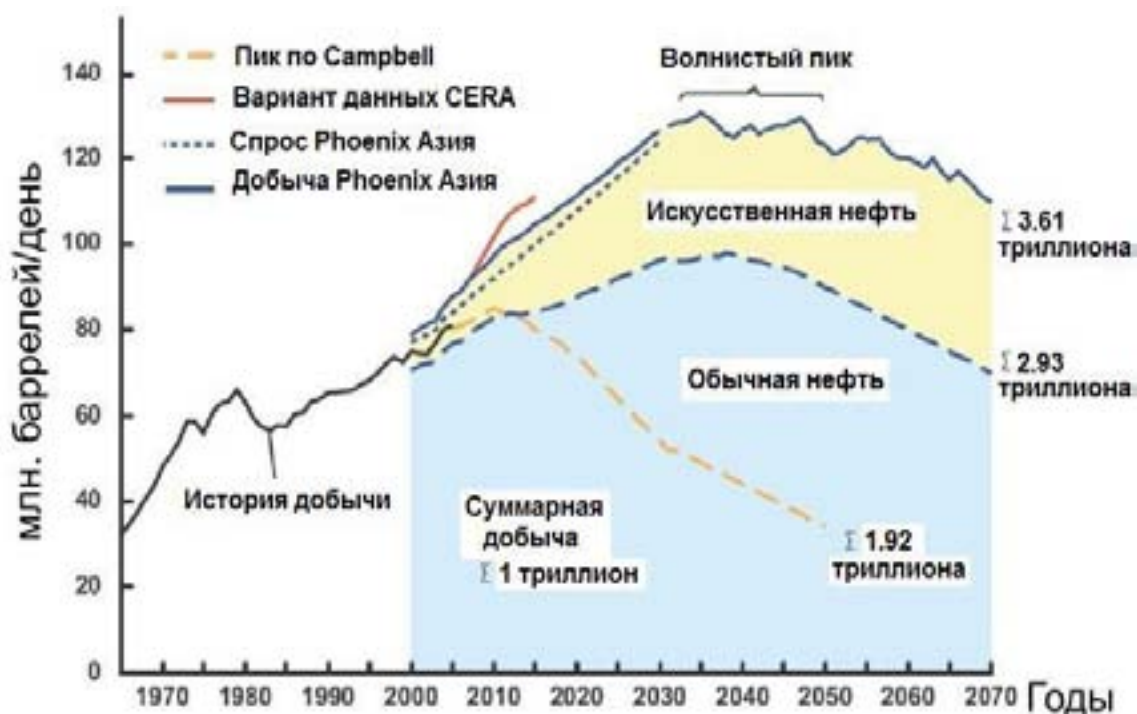


Рис. 3. Прогноз появления волнистого пика в добыче нефти [6]

сказывают достижение пика добычи нефти в конце 30-х годов текущего столетия, рис. 3.

Геологи полагают, что достижение такого пика будет регулироваться ценами на нефть, поисками нетрадиционных источников нефти и мерами по снижению ее потребления.

История и прогноз добычи нефти и конденсата в Северном море и в мире, млн. баррелей в день (данные Администрации по энергоинформации США (EIA)), приведены на рис. 4. Горизонтальная ось здесь смещена по годам, для Северного моря она изображе-

на в верхней части рисунка.

Хотя модель добычи для Северного моря и не является лучшим примером, однако она показывает общую тенденцию динамики добычи и практически повторяет модель мировой добычи нефти и конденсата.

Остановимся кратко еще на одном примере. Нефтяное месторождение Ghawar является самым крупным месторождением мира с приблизительными размерами около 280 x 30 км. На нем пробурено более 4000 скважин, рис. 5. Оно обеспечивает почти половину всей добываемой нефти в Саудовской



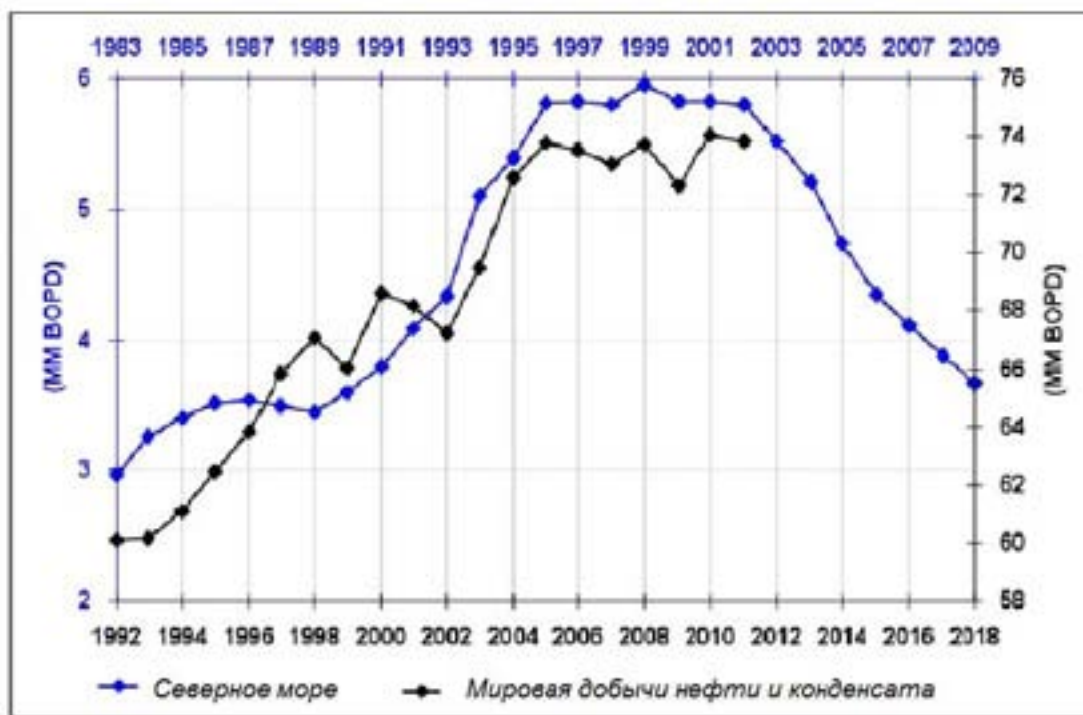


Рис. 4. Динамика в добыче нефти в мире и в Северном море в млн. баррелей в день [7]

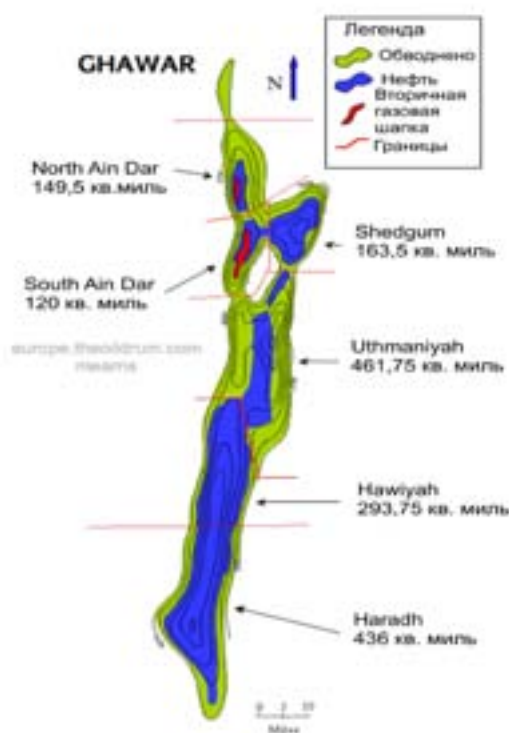


Рис. 5. Крупнейшее нефтяное месторождение мира Ghawar, расположенное в Саудовской Аравии, с разбивкой и с оцениваемыми зонами чистой нефти и обводнения [10, с изменениями]

Аравии [8]. В 1980 году месторождение было национализировано Правительством Саудовской Аравии и с тех пор данные по освоению месторождения и добыче нефти больше не

публиковались. Однако имеются оценки различных экспертов об уровнях ее добычи и степени обводнения продуктивных пластов. Они позволяют судить о том, что это гигантское месторождение уже в значительной степени выработано, а ряд его зон находится на поздней стадии эксплуатации.

Месторождение обеспечивало по разным оценкам в период с 1948 до 2000 гг. до 60 – 65% добычи нефти в Саудовской Аравии [9]. Накопленная же добыча по состоянию на апрель 2010 г. оценивается в 65 млрд. баррелей ( $10.3 \text{ км}^3$ ), в настоящее же время добыча оценивается в 5 млрд. баррелей ( $795\,000\,000 \text{ м}^3$ ) нефти в день. Это составляет 6.25% от мировой добычи [10]. В период разведки и открытия месторождения (1948 – 1952 гг.) запасы нефти в пластовых условиях были оценены в 170 млрд. баррелей, а извлекаемые резервы тогда оценивались в 60 млрд. баррелей. Это составляет около 1/8 суммарных доказанных резервов мира [11].

Оценочные данные о степени истощения месторождения Ghawar с разбивкой на его зоны приведены в табл. 1.

Несколько иная ситуация имеет место относительно природного газа. Его резервы оценивались рядом организаций в период 2007 – 2009 гг. Они составляют около 180

Таблица 1

Степень истощения гигантского нефтяного месторождения Ghawar, по данным

Зона месторождения Ghawar	Выработка нефти, %
North Ain Dar	98.52
South Ain Dar	97.38
Shedgum	92.36
Uthmaniyah	94.41
Hawiyah	54.99
Haradh	29.01
Среднее	77.68

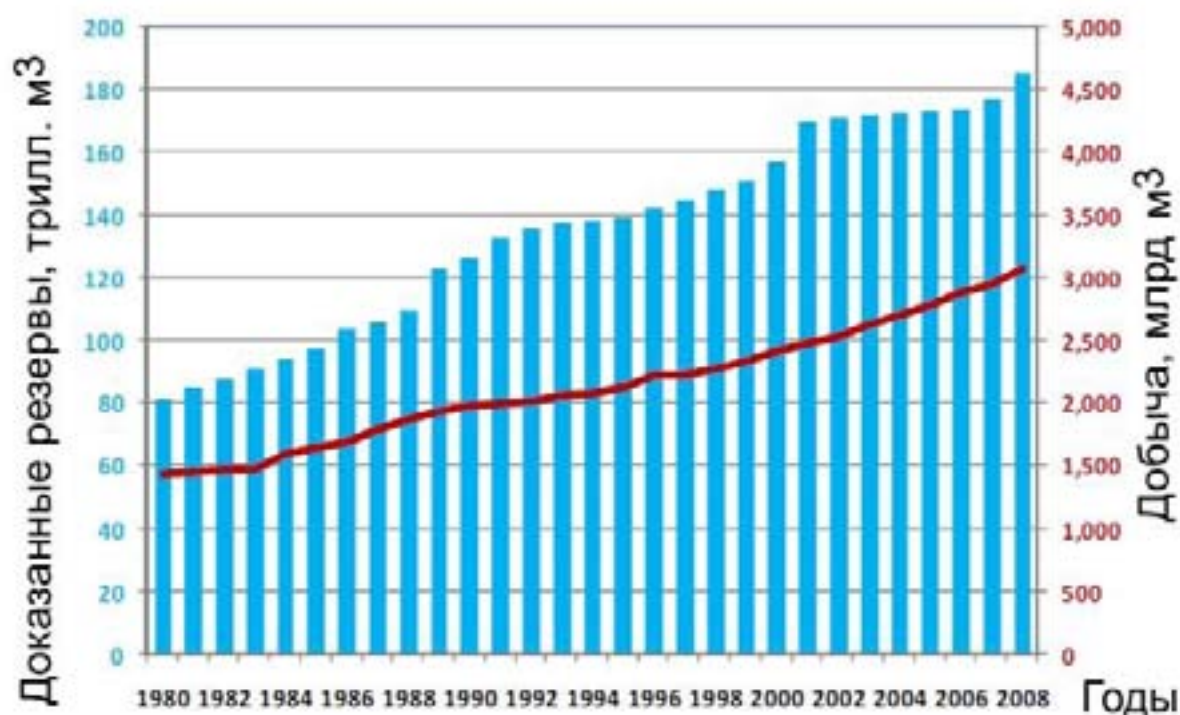


Рис. 6. Тенденция изменения мировых резервов природного газа и его добычи [4]

триллионов м³ (в 2008 г. было добыто 3.1 трлн. м³). Важно, что абсолютное значение резервов при этом представлено трендом постоянного роста при более быстром приросте резервов по сравнению с добычей природного газа, рисунок 6. Часть из мировых резервов природного газа (около 22%) существует в виде попутного газа [12] и его добыча зависит от добычи нефти в будущем. Ряд месторождений открывают в последние годы в сложных геологических условиях (районы многолетней мерзлоты, акватории морей, пустыни и т.п.). Это неизбежно приводит к удорожанию добычи и транспортировки добытого газа к потребителям.

#### Динамика добычи природного газа

Суммарная добыча природного газа в 2008 году достигла рекордного уровня 3066 млрд. м³. Суммарная добыча к 2008 г. приблизилась к 48% доказанных резервов и ряд аналитиков считают, что имеются признаки достижения пика его добычи, как и в случае нефти, уже в первые десятилетия 21 века. В настоящее время СНГ (крупным поставщиком является в основном Россия) занимает третье место по ресурсам природного газа после Ближнего Востока и США [13].

В последние годы наблюдается выраженная тенденция роста цен на энергоносители из-за истощения разведанных ресурсов. Это привело к ускоренному развитию альтернативной энергетики в мире в целом и к ис-

пользованию геотермальной энергии в частности. С начала промышленной революции в 19-м веке эмиссия углекислого газа в атмосферу вследствие интенсивного сжигания ископаемых видов топлива, вызванного развитием экономики и неконтролируемым потреблением энергии человечеством, многократно увеличилась и привела к изменению климата.

Использование возобновляемых энергоресурсов, в том числе, геотермальной энергии является одной из реальных альтернатив. К настоящему времени за счет геотермальных ресурсов вырабатывается приблизительно от 2.2 до 4% всей потребности электроэнергии в мире, а также производится около 4.7% мирового потребления тепловой энергии. В отдельных странах более половины потребности в тепловой, либо электрической энергии уже обеспечивается за счет геотермальных ресурсов. В долгосрочной перспективе ожидается дальнейший рост выработки энергии за счет использования возобновляемых ресурсов подземного тепла; хотя в течение нескольких десятков лет и будет преобладать использование энергии за счет сжигаемого топлива, но его доля будет постепенно снижаться.

По данным исследования [14], составленного в середине 2008 года, прогнозируется, что мировая потребность в энергии увеличится на 45% до 2030 г. При этом спрос на нее возрастет до 712 EJ (экзаджоулей,  $1 \text{ EJ} = 10^{18} \text{ J}$ ). Прогнозное потребление топлива для выработки энергии увеличится на 80%, в основном за счет быстрого роста экономики развивающихся стран юго-восточной Азии, Африки, Латинской Америки. Прогнозируется, что за этот период эмиссия парниковых газов также возрастет приблизительно с 44 до 60 Гигатонн в эквиваленте  $\text{CO}_2$ , что может привести к значительным изменениям климата.

#### **Тенденции в использовании геотермальных ресурсов**

Существующие тенденции и постоянное улучшение технологии извлечения подземного тепла позволяют прогнозировать увеличение мощности геотермальных установок в мире до 3% от общей потребности по элек-

троэнергии к 2050 году и более чем на 10% к 2100 г. Одновременно прогнозируется рост в обеспечении тепловой энергией около 5% от потребности планеты к 2050 году и около 10% к 2100 г. [15, 16]. Ожидается, что только прямое использование геотермальных ресурсов для отопления, сушки, кондиционирования и т.п., включая и технологию с использованием тепловых насосов, возрастет до 7.57 экзаджоулей в год ( $\sim 800 \text{ ГВт}$ ) к 2050 г. и к 2100 г. – порядка 12.4 EJ/год (при 1% росте в год) и 53.8 EJ/год (при 4% росте в год) [17]. К 2010 г. в 24 странах мира инсталлированная мощность по выработке «геотермальной» электроэнергии достигла 10.7 ГВт, а в 78 странах по прямому использованию – 50.6 ГВт, включая отопление и кондиционирование зданий [18], что говорит о значительных успехах в мире в освоении этого возобновляемого источника природного тепла.

Важное требование ученых мира – не допустить потепления на планете, более чем на  $2^\circ\text{C}$ , что, в свою очередь, требует снижения потребления сжигаемых видов топлива для выработки энергии и их замены возобновляемыми источниками, а также ядерной энергией. Уже в 2007 г. в мире действовало около 1.6 млн. геотермальных установок, в том числе, и теплонасосных, и продолжается увеличение их количества. Их установленная тепловая мощность превысила 19 ГВт, а выработка тепла достигла 330 PJ (петаджоулей,  $1 \text{ PJ} = 10^{15} \text{ J}$ ), что на 20% больше, чем было выработано в 2005 г. [15]. При этом теплонасосными установками выработано около 30% от этого общего количества.

В конце же 2009 г. установленная мощность геотермальных установок для выработки тепла достигла в мире 50 583 МВт, что означает почти 79% роста по сравнению с 2005 годом. Средний ежегодный прирост составил 12.3%, из которых 49% получено теплонасосными установками. Выработанная тепловая энергия составила 438 071 ТДж/год или 121 696 ГВт-час/год, что составляет 60% прироста по сравнению с 2005 годом. Средний ежегодный темп прироста составил 9.9% [18]. Этот объем выработанного тепла за счет геотермальных ресурсов эквивалентен ежегодной экономии 46.2 млн. тонн нефти, что предотвращает выброс в атмосферу 46.6 млн.

тонн углерода и 148.2 млн. тонн углекислого газа.

Геотермальные инвестиции в мире достигли 2.5 млрд. \$US в 2008 г., их прирост по отношению к 2007 г. составил 40%. Капитальные же затраты в 2008 г. на строительство геотермальных электростанций изменялись от 2400 до 4000 \$US/кВт установленной мощности, а для бинарных геотермальных станций – от 2400 до 5900 \$US/кВт. Производство же тепла для отопления жилых кварталов теплонасосными установками составляет около 79 \$US/МВт-час [15].

К 2050 г. прогнозируется, что мировая мощность по выработке электроэнергии из уже известных гидротермальных ресурсов возрастет с 10 ГВт до 140 ГВт, из которых 70 ГВт будет достигнуто, используя существующую технологию, а остальное – за счет разработки новых технологий, рис. 7.

Глобальный потенциал инженерных геотермальных систем (EGS – Engineering Geothermal Systems) с созданием зон искусственной трещиноватости в массивах сухих горячих пород оценивается в 1000 – 2000 ГВт.

Только в западной части США технический ресурс горных пород с температурой более 150°C при глубине их залегания до 6 км оценивается в 345 ГВт [19]. Приведенные данные позволяют оценить установленную мощность суммарной генерации электроэнергии в мире в 170 ГВт к 2050 г.

Технический потенциал низкоэнтальпийных геотермальных ресурсов с температурой менее 130°C оценивается в 140 EJ/год (экзаджоулей/год). Эти ресурсы можно использовать для создания бинарных геотермальных установок для выработки электроэнергии и тепла уже начиная с температуры порядка 75 – 80°C. Так, на Аляске в Chena Hot Springs действует небольшая бинарная электростанция с температурой геотермального флюида на входе 74°C [20]. На этой станции установлено 3 блока суммарной мощностью 730 кВт.

Такие и более высокие температуры зарегистрированы в ряде стран Евразии, в том числе и во многих скважинах Припятского прогиба, Беларусь.

Ожидается, что геотермальная энергия

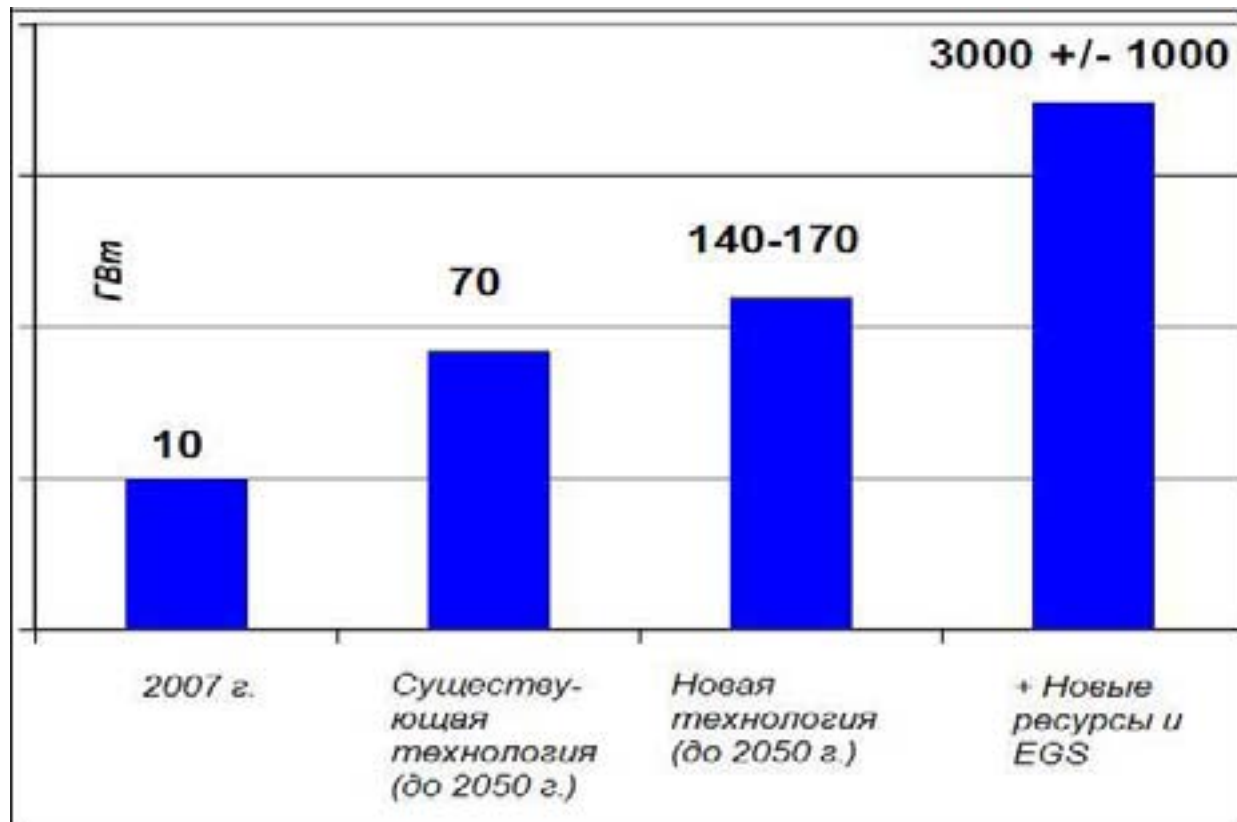
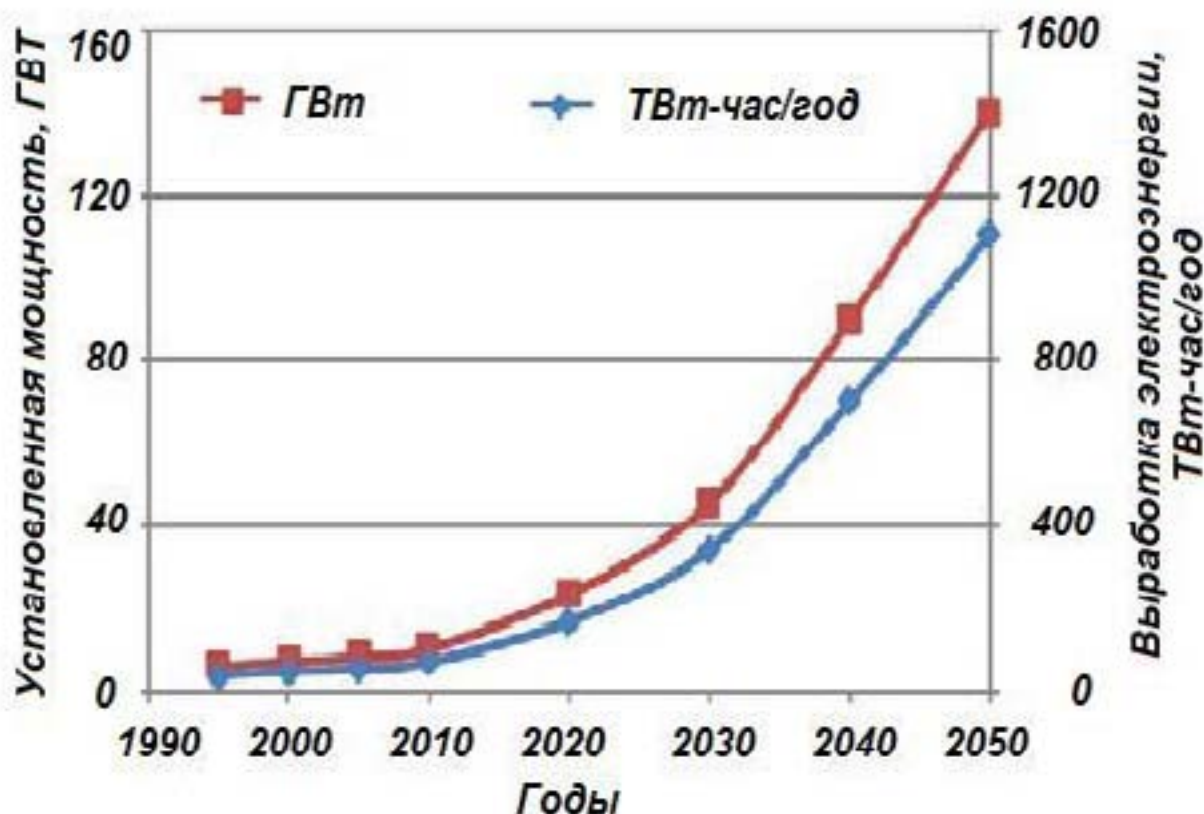


Рис. 7. Оценка выработки электроэнергии за счет использования геотермальных ресурсов на период до 2050 г. ([15], с изменениями)





**Рис. 8.** Рост установленной электрической мощности и выработки электроэнергии и их прогноз до 2050 г. ([21], с изменениями)

может обеспечить выработку от 1% (приблизительно 350 ТВт-час) до 3% (приблизительно 1060 ТВт-час) от глобальной выработки электроэнергии в 2050 г. [15]. Близкие результаты содержатся в [21], рис. 8. В последнем случае оценено, что к 2050 г. рост выработки тепла достигнет 5.1 EJ/год. При этом теплонасосные установки будут вырабатывать около 83% от этого количества.

Важными факторами, оказывающими влияние на использование геотермальной энергии в будущем, являются: энергобезопасность, быстро развивающаяся промышленность и совершенствование технологии извлечения и использования этого вида природного тепла, предсказуемость затрат, прогнозируемые темпы ее использования, относительная простота интегрирования геотермальных установок с существующими энергетическими системами, доступность технологии для использования геотермальных ресурсов практически в любой стране мира.

На большинстве докембрийских платформ, в том числе и в платформенном чехле Беларуси, не выявлены геотермальные гори-

зонты с температурой 150-180°C, пригодные для выработки электроэнергии. На большинстве же геологических структур Европы, в том числе и на территории Беларуси за пределами Припятского прогиба, температура не превышает 40-45°C. Здесь применимы теплонасосные геотермальные установки и бинарные геотермальные системы, которые используются и в странах, где отсутствуют высокотемпературные и высокоэнтальпийные геотермальные ресурсы. Такие установки не требуют отведения больших участков земли для их создания и эксплуатации, например, если площадь, занимаемая геотермальными электростанциями, подводными трубопроводами и т.п., составляет в среднем около 0.35 кв. км/100МВт [15], то для геотермальных установок, вырабатывающих тепло, она еще меньше.

### Выводы

Результаты анализа показывают, что пик добычи нефти в глобальном масштабе может быть достигнут по разным оценкам в ближайшие десятилетия. Достигнута высокая степень выработки извлекаемых ресурсов



нефти и ряд крупных нефтяных месторождений переходит на позднюю стадию разработки. Суммарная добыча природного газа в 2008 году достигла рекордного уровня 3066 млрд. м<sup>3</sup>. Она приблизилась к 48% доказанных резервов и ряд аналитиков считает, что имеются признаки достижения пика добычи, как и в случае нефти, уже в первые десятилетия 21 века.

На фоне прогнозируемого спада добычи углеводородов в текущем столетии наблюдается рост использования возобновляемых ресурсов геотермальной энергии. В конце 2009 г. установленная мощность геотермальных установок для выработки тепла достигла

в мире 50 583 МВт. К 2050 г. прогнозируется, что мировая мощность по выработке электроэнергии из уже известных гидротермальных ресурсов возрастет с 10 до 140 ГВт. Быстрыми темпами развивается использование низкоэнтальпийных ресурсов геотермальной энергии. Оценено, что к 2050 г. выработка тепла достигнет 5.1 EJ/год. При этом теплонасосные установки будут вырабатывать около 83% от этого количества.

\* \* \* \* \*

Настоящая работа выполнена частично по гранту БРФФИ № X10P-058.

## Список литературы

1. Delivering energy for the future through people. Partnership and performance / WGC 2010. Daily News. Issue 1, April 25, 2010, p. 8. ([http://www.wgc2010.org/pdf/WGC2010\\_Daily\\_News\\_1st\\_Edition.pdf](http://www.wgc2010.org/pdf/WGC2010_Daily_News_1st_Edition.pdf)) (accessed 1st May 2010).
2. EWG = Energy Watch Group. Crude Oil – the Supply Outlook. Revised Edition February 2008, 102p. ([http://www.energywatchgroup.org/fileadmin/global/pdf/2008-02\\_EWG\\_Oil\\_Report\\_updated.pdf](http://www.energywatchgroup.org/fileadmin/global/pdf/2008-02_EWG_Oil_Report_updated.pdf)) (accessed 1st May 2010).
3. Earth Policy Institute, 2007 (<http://www.earth-policy.org/publications>) (accessed 1st May 2010).
4. BP (British Petroleum), 2009. "Statistical Review of World Energy 2009" London: British Petroleum.
5. Campbell, C. J. and J. H. Laherrere, 1998. The End of Cheap Oil // Scientific American. March, pp. 78-83.
6. CERA: <https://www.cera.com/asp/cda/public1/offering/offeringsHome.aspx>. (Cambridge Energy Research Associates) (accessed 1st May 2010).
7. <http://www.theoildrum.com/node/8410> (accessed 1st November 2011).
8. <http://www.theoildrum.com/node/2470> (accessed 1st November 2011).
9. [http://en.wikipedia.org/wiki/Ghawar\\_Field](http://en.wikipedia.org/wiki/Ghawar_Field) (accessed 1st November 2011).
10. [http://www.appro.com/company/0706\\_Appro\\_Eprint\\_A.pdf](http://www.appro.com/company/0706_Appro_Eprint_A.pdf) (accessed 1st November 2011).
11. <http://www.theoildrum.com/node/2494> (accessed 1st November 2011).
12. IEA (International Energy Agency), 2009 // World Energy Outlook 2009. OECD, Paris.
13. BGR (Federal Institute for Geoscience and Natural Resources), 2009. Energierohstoffe 2009 (Reserves, Resources and Availability of Energy Resources). Hannover, Germany.
14. IEA.: World Energy Outlook 2008, OECD/IEA, Paris (2008), 569 p.
15. Bromley, C.J., M.A. Mongillo, B. Goldstein, G. Hiriart, R. Bertani, E. Huenges, H. Muraoka, A. Ragnarsson, J. Tester, and V. Zui, 2010. IPCC Renewable Energy Report: the Potential Contribution of Geothermal Energy to Climate Change Mitigation // Proceedings World Geothermal Congress 2010, Bali, Indonesia, April 25-30, 2010.
16. Goldstein, B.A.1, Hiriart, G., Tester, J., B., Bertani, R., Bromley, Gutierrez-Negrin, L., C.J., Huenges, E., H, Ragnarsson, A., Mongillo, M.A. Muraoka, and V. I. Zui Great Expectations for geothermal energy to 2100 // Proceedings, Thirty-Sixth Workshop on Geothermal Reservoir Engineering Stanford University, Stanford, California, January 31 - February 2, 2011 SGP-TR-191 (Compact Disk).
17. Rybach, L., 2005. The advance of geothermal heat pumps world-wide // IEA Heat Pump Centre Newsletter, 23, pp. 13-18.
18. Lund, J. W., D.H. Freeston, and T.L. Boyd, 2010a. Direct Utilization of Geothermal Energy 2010 Worldwide Review // Proceedings World Geothermal Congress 2010, Bali, Indonesia, 25-30 April 2010.
19. USGS, 2008, Fact Sheet 2008–3082 Assessment of Moderate- and High-Temperature Geothermal Resources of the United States. <http://www.usgs.gov/fs/2008/3082/pdf/fs2008-3082.pdf> (accessed 1st May 2010).
20. Lund, J.W., Gawell, K., Boyd, T.L., Jennejohn, D. The United States of America Country Update 2010 // Proceedings World Geothermal Congress 2010, Bali, Indonesia, April 25-30, 2010. 18 p.
21. Bertani, R., 2010. World Update on Geothermal Electric Power Generation 2005-2009 // Proceedings World Geothermal Congress 2010, Bali, Indonesia, April 25-30, 2010.